Pregled kazalcev za spremljanje vročine v Sloveniji

Neža Ključevšek, Agencija Republike Slovenije za okolje, (neza.kljucevsek@gov.si)

Povzetek

Meteorološke službe vedno bolj uporabljajo t.i. vročinske kazalce za detekcijo vročinskih valov in izdajanje opozoril. Tovrstne uporabe kazalcev v Slovenski meteorološki službi do sedaj ni bilo. Glede na predvidene spremembe podnebja in posledice za regionalne in lokalne vremenske ekstreme, je v članku narejen pregled kazalcev, ki bi bili primerni za uporabo v Sloveniji. Izbrani kazalci so se izkazali kot koristni drugje v zmernih geografskih širinah severne poloble in v Avstraliji. Kazalci so izračunani na večletnih nizih meritev na 14-ih meteoroloških postajah v Sloveniji. Med analiziranimi kazalci sta se za zelo uporabna izkazala dva. Kazalec, imenovan faktor toplotnega presežka, je dovolj enostaven in oblikovan tako, da bi bil uporaben tako za napovedovanje in samo definicijo vročinskih valov, kot tudi za klimatološko analizo, tudi v slovenskem podnebju. Za kompleksnejše analize vročinskih valov tako v preteklosti kot v prihodnosti se je dobro izkazal kazalec HWMId, ki omogoča primerjavo različnih vročinskih valov med sabo in analizo njihove spremenljivosti.

Ključne besede: *vročinski val, vročinski kazalci, kazalci podnebnih sprememb*

Abstract

Meteorological services frequently use heat indices for heat wave detection. Slovenian Meteorological Office does not have a unique index for heat wave detection yet. In relation to the global climate change and its consequences on local weather extremes – especially the increase in the number of heat exhausting days - this article analyses heat indices that may be potentially useful for Slovenian climate. Selected indices have been proved useful in other moderate latitude regions of the northern hemisphere and in Australia. The analysis is based on multiyear measurements from 14 meteorological stations, which are representative of various sub regional climate conditions. Two indices proved to have high potential for operational use in Slovenia. Excess heat factor is simple enough and designed in a way that it can be used wherever in the world for prediction and definition of heat waves. For a degree more complex, the form of HWMId makes it very appropriate for comparison of different heat waves and for analysing their variability in present and future climate conditions.

Key wards: *heat wave, heat index, climate change indices*

Uvod

Scenariji podnebnih sprememb kažejo na prihodnost s čedalje več ekstremnimi vremenskimi pojavi, med katere sodijo tudi vročinski valovi (Russo in sod. 2015). Številne države po svetu uporabljajo kar nekaj različnih vročinskih kazalcev s katerimi opozarjajo prebivalce na prihajajoče obremenilne razmere, zaradi vročine (McGregor in sod. 2015). S pomočjo nekaterih so izoblikovane tudi definicije vročinskih valov (Nairn in sod. 2013). Globalno gledano uradne definicije kaj je vročinski val in kdaj nastopi ni, kar je logično, saj so ljudje v različnih podnebnih pasovih različno prilagojeni na vročino (McGregor in sod. 2015). Uradne definicije vročinskega vala v Sloveniji do sedaj nimamo. V okviru nalog državne meteorološke službe, ki se izvaja na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO), se pri vremenski napovedi trenutno ne poslužujemo nobenega vročinskega kazalca. Odločitev o izdaji opozorila je vezana na napoved maksimalnih in povprečnih dnevnih temperatur, in sicer za pet regij definiranih v sistemu opozarjanja na ekstremne vremenske dogodke.

Se pa v času hude vročine pogosto pozablja na to, da daljša izpostavitev le tej lahko privede tudi do vročinske izčrpanosti, oz. do kakšne druge bolezni povezane z vročino, v najslabšem primeru tudi do smrti. V tem času so najbolj ranljivi starejši in otroci, ki nimajo več. oz. še dovolj dobro razvitega čuta za to, kdaj se je potrebno umakniti na varno. V takšnih dnevih se vse pogosteje pojavlja ignoranca vodilnih v podjetjih, ki bi svojim delavcem morali omogočiti prostor za ohladitev med delom. Še posebej so na

udaru vsi delavci na prostem, ki so poleg visokim temperaturam pogosto izpostavljeni tudi direktnemu sončnemu obsevanju. Nevzdržne razmere se poleti pogosto, ponekod tudi skozi celo leto, dogajajo v velikih proizvodnih halah, kjer delavci praktično celo izmeno delajo pri izredno visokih temperaturah. Ne samo, da so takšne razmere nevarne za zdravje, v tem času je tudi zbranost za delo na nižji ravni, zato lahko pride do poškodb na delavnem mestu.

Seveda pa vročina ne vpliva samo na ljudi, temveč so v dneh hude in dlje časa trajajoče vročine posledice vidne tudi na pridelkih. Na udaru so tudi živali. V dneh, ko imamo visoke temperature je npr. pridelava mleka občutno manjša. Še več, če je izpostavitev dovolj močna in dovolj dolga, potem se mlečnost pri živali nikoli več ne vrne na najvišjo raven (Gantner in sod. 2011). Takšne razmere, ki bi se pojavljale na večjem območju po npr. Evropi, bi lahko privede do zvišanja cen hrane na trgu.

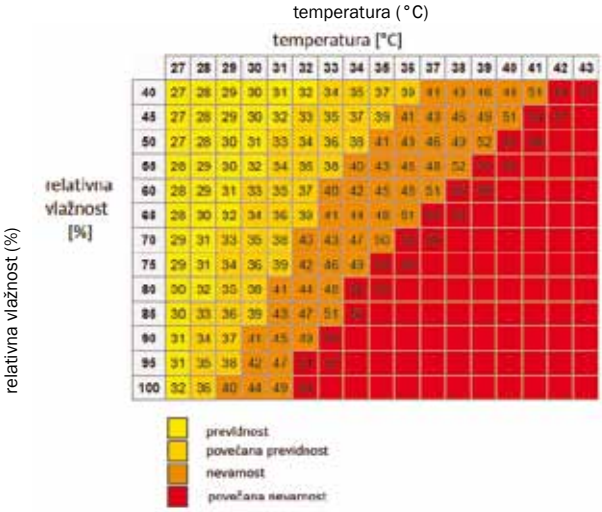
Kot že rečeno, v prihodnosti nas čaka tudi več vročinsko gledano ekstremnih dogodkov, zaradi česar bi bila uporaba vročinskih kazalcev dobrodošla, saj bi lahko nekoliko enostavneje opozarjali prebivalstvo na resnost razmer. Z njihovo pomočjo bi lahko izoblikovali tudi definicijo vročinskega vala. Prav zaradi tega, sem na podatkih iz slovenskih postaj, preverila uporabnost nekaterih najpogosteje uporabljenih vročinskih kazalcev po svetu. Izbrani so glede na dostopnost podatkov, ki so potrebni za njihov izračun.

V poglavju 2 so zbrani in opisani vsi vročinski kazalci, ki sem jih podrobneje raziskala. Pomembnejše rezultate sem predstavila v poglavju 3, temu sledi še zaključek v poglavju 4.

Kazalci za opis vpliva vremena na počutje

Opis vremena na počutje človeka se izraža v t.i. toplotnem naporu. Obstajajo trije osnovni načini ocenjevanja toplotnega napora (Li in sod. 2000). Najenostavnejši način je uporaba biometeoroloških kazalcev, t.i. kazalcev udobja. Najbolj kompleksen pristop je s pomočjo kazalcev, ki poskušajo opisati človeško energijsko bilanco. Najnovejši pristop pri opisu toplotnega napora je sinoptično-podnebna analiza. Za opis podnebne spremenljivosti se pogosto uporablja skupina 27 t.i. ETCCDI kazalcev, ki jih je v okviru Svetovnega programa za podnebne raziskave (WCRP) pripravila skupina strokovnjakov in je objavljena na spletni strani (Spletni vir 6).

Različnih kazalcev je kar nekaj, vendar se bom v delu osredotočila zgolj na tiste, ki so namenjeni ocenjevanju vročine, ali pa so primerni tako za mraz kot za vročino. Kar nekaj je izpuščenih zaradi njihove



Slika 1. Tabela izračunov vročinskega indeksa HI in pripadajoča stopnja nevarnosti. Povzeto po: (spletni vir 2, spletni vir 3)

Figure 1. Table for calculation of heat index and associated rate of danger. Picture from: (spletni vir 2, spletni vir 3)

odvisnosti od podatkov, ki se v Sloveniji ne merijo, ali pa so na voljo le za maloštevilne lokacije (npr. oblačnost).

Osnovni biometeorološki kazalci

Indeks vročine (ang. Heat index)

Indeks oz. kazalec vročine, ki ga bom označevala *HI* po angleški različici, združuje vpliv relativne vlažnosti in temperature zraka. Kazalec določa navidezno temperaturo oz. temperaturo, ki jo dejansko občutimo. Spremenljivke potrebne za izračun indeksa vročine je prvi združil R.G. Steadman leta 1979. Sedanja oblika enačbe sledi predlogu L.P. Rothfusza (Simon in sod. 2013):

$$\begin{aligned} HI = &-24{,}379 + 2{,}04901523\,T + 10{,}14333127\,RH - \\ &- 0{,}22475541\,T{\cdot}RH - (6{,}83783{\cdot}10^{-3})\,T^2 - \\ &- (5{,}481717{\cdot}10^{-2})\,RH^2 + (1{,}22874{\cdot}10^{-3})\,T^2{\cdot}RH + \\ &+ (8{,}5282{\cdot}10^{-4})\,T{\cdot}RH^2 - (1{,}99{\cdot}10^{-6})\,T^2{\cdot}RH^2 \end{aligned} \qquad (1)$$

kjer sta T temperatura zraka v (°C) in RH relativna vlažnost. Pri visoki relativni vlažnosti se zmanjša zmožnost izhlapevanja vode, kar pomeni, da toplota zapušča telo počasneje, kot v suhem vremenu. Posledično nam je seveda bolj vroče. Indeks vročine *HI* se uporablja v ZDA za izdajanje vročinskih opozoril. Tam je za temperaturo v uporabi enota Fahrenheit (F). Enačba 1 je primerna tako za F, kot za °C, saj je končna vrednost ocena, kakšno temperaturo občutimo, odvisna od tega, v kakšnih enotah vstavljamo podatke o temperaturi. Slaba stran

indeksa je v tem, da ni uporaben tako za vročino kot mraz, saj je uporaben šele pri temperaturi višji od 26 °C in vsaj 40 % relativni vlažnosti (McGregor in sod. 2015).

Za izračun vročinskega kazalca se navadno uporablja dnevna maksimalna temperatura, saj nas zanima, kakšno vrednost je imel kazalec v času najhujše vročine. Ga pa seveda lahko izračunamo tudi v katerem koli delu dneva, če nas recimo zanima kako obremenilne razmere imamo ob npr. večerih.

Slika 1 prikazuje vrednost kazalca vročine pri različnih temperaturah in vlažnostih, ter kakšna stopnja nevarnosti sledi iz te vrednosti kazalca.

Indeks vlažnosti (ang. humidity index oz. humidex)

Indeks oz. kazalec vlažnosti, znan pod imenom *humidex*, se uporablja za izračun navidezne temperature v Kanadi. Za razliko od nekaterih drugih kazalcev, za izračun uporablja temperaturo rosišča namesto temperature. Trenutno obliko sta izoblikovala J.M. Masterson in F.A. Richardson leta 1979 (Simon in sod. 2013), nekoliko drugačno obliko pa je Kanada prvič operativno uporabila leta 1965. Kazalec humidex opisuje, kako vlažno vreme čuti človek. Enačba kazalca vlažnosti se glasi:

$$humidex = T + \frac{5}{9}\left(6.11 \times e^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16} - \frac{1}{T_d}\right)} - 10\right), \quad (2)$$

kjer je T_d temperatura rosišča v Kelvinih (K). T ima enak pomen in enoto kot v enačbi 1. Temperatura rosišča T_d se izračuna s pomočjo Clausius–Clapeironove enačbe, ki opisuje spremembe nasičenega tlaka vodne pare v odvisnosti od temperature (spletni vir 4):

$$T_d = \left(\frac{1}{273.16} - \frac{461}{2.5\times10^6}\ln\left(\frac{e}{6.11}\right)\right)^{-1}, \quad (3)$$

kjer je

$$e = RH \cdot e_s \quad (4)$$

in

$$e_s = 6.11 \times e^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16} - \frac{1}{T}\right)}, \quad (5)$$

kjer je T tokrat v K. Parametra e in e_s po vrsti označujeta parni tlak vodne pare (hPa) in nasičen parni tlak vodne pare (hPa). Mejne vrednosti kazalca vlažnosti in pripadajoča stanja udobja so zbrani v preglednici 1.

Preglednica 1. Vrednosti indeksa vlažnosti s pripadajočimi občutji udobja. Povzeto po (McGregor in sod. 2015).

Table1. Values of humidex and associated rate of comfort. Summarized after (McGregor in sod. 2015).

Vrednost indeksa vlažnosti	Udobje
maj kot 29	udobno
30 - 39	manjše neudobje
40 - 45	zelo neudobno, izogibajmo se naporu
nad 45	nevarno
nad 54	grozi vročinska kap

Za ekstremno visok indeks vlažnosti se štejejo vrednosti, ki so večje od 40. V takšnih razmerah naj bi se vse nepotrebne aktivnosti preložile. Vrednosti kazalca nad 35 pomenijo, da bi se morale nekatere zunanje aktivnosti upočasniti oz. spremeniti, odvisno od starosti osebe, njene fizične pripravljenosti, zdravja in vrste obleke, ki jo nosi (McGregor in sod. 2015).

Omembe vredno je, da je enačba za izračun kazalca matematično popolnoma nekorektna. Seštevanje temperature, ki je v °C in tlaka, ki je v hPa je popolnoma napačno matematično početje, enako velja za odštevanje skalarja 10, ki je brez enote (spletni vir 5). Pravzaprav, če pozorno pogledamo, je taka večina kazalcev, saj so to empirične formule, ki poskušajo širši javnosti približati, kakšno občutje bodo ustvarile različne vrednosti vremenskih spremenljivk.

Skupna efektivna temperatura (ang. Net effective temperature)

Efektivna temperatura je že nekaj let v uporabi na Kitajskem in na Portugalskem, ker je zelo primerna za operativne namene (McGregor in sod. 2015). Prvič jo je predstavil A. Missenard že leta 1937, da bi poleg temperature vključil učinek relativne vlažnosti. Njegova oblika efektivne temperature je bila namenjena samo vročim dnem, zato jo je M. Gregorczuk nekoliko spremenil, in jo naredil primerno za vse vremenske razmere (Li in sod. 2000). Formula, ki je še danes v uporabi na Kitajskem ima naslednjo obliko:

$$NET = 37 - \frac{37-T}{0.68 - 0.0014\,RH + \frac{1}{(1.76 + 1.4\,v^{0.75})}} - 0.29\,T(1 - 0.01\,RH), \quad (6)$$

kjer je v hitrost vetra v (m/s) in RH v (%). Prednosti uporabe kazalca NET so povzete po (Li in sod. 2000):

- Relativno lahko ga je izračunati in interpretirati, kajti velika vrednost efektivne temperature pomeni veliko toplotno obremenitev.

- Lahko ga uporabljamo tako za vroče dneve, kot tudi pozimi med hudim mrazom.
- Njegova občutljivost je zelo podobna ‘‘wind-chill’’-u in navidezni temperaturi, ki sta najpogosteje uporabljena kazalca za hladne in vroče dni.
- Njegova vrednost se da napovedati, saj so meteorološke spremenljivke, ki se uporabljajo za izračun, napovedljive.
- Efektivna temperatura je konsistentna z človeškim dojemanjem. V vročem vremenu se vrednost kazalca NET poveča, če se temperatura in/ali relativna vlaga poveča, zniža pa, če piha močnejši veter. V hladnem vremenu se vrednost NET manjša z nižanjem temperature in povečevanjem relativne vlažnosti in vetra.

Navidezna temperatura (ang. Apparent temperature)

Navidezna temperatura je splošen izraz za več biometeoroloških kazalcev, ki poskušajo opisati zaznavno temperaturo, na podlagi izmerjene temperature in vlage, nekateri tudi hitrosti vetra. Primeri kazalcev, ki spadajo v to skupino so: indeks vročine, indeks toplotne obremenitve, indeks vlažnosti, univerzalni toplotni klimatski indeks in indeks navidezne temperature (Simon in sod. 2013). V tem poglavju se bom ukvarjala z zadnjim. Tudi tega je prvi predstavil R.G. Steadman (Simon in sod. 2013). Navidezna temperatura (*AT*) je definirana kot temperatura pri referenčni vlažnosti, ki predstavlja isto mero neugodja, kot temperatura in vlažnost izmerjena v trenutku opazovanja. Navidezna temperatura predstavlja prilagoditev temperaturi zraka glede na vlažnost. Za referenčno stanje je izbrana absolutna vlažnost pri temperaturi rosišča 14 °C, ker se pri tej vrednosti temperatura zraka le malo razlikuje od navidezne temperature. Če je vlaga višja od referenčne, potem bo *AT* višja od temperature zraka. Dobra stran tega kazalca je v tem, da je uporaben na velikem temperaturnem intervalu in je tako uporaben tudi za zimske mesece, saj z njim dobimo tudi efekt navideznega mraza zaradi vetra pri nižjih temperaturah. Prvo verzijo navidezne temperature smo spoznali že pri indeksu vročine (6). Druga oblika, ki vsebuje veter ima obliko:

$$AT = T + 0.33e - 0.7v - 4. \qquad (7)$$

V enačbi 7 imajo parametri *T, e* in *v* enak pomen in enote kot pri enačbah 1 in 6.

Indeks toplotnega presežka (ang. Excess heat index)

Toplotni presežek se pojavi ob dnevih, ko je vroče tako čez dan, kot tudi nadpovprečno toplo ponoči. Presežek se določi iz primerjave treh zaporednih povprečnih dnevnih temperatur z referenčno vrednostjo. Vrednost, ki je višja od 95. centila izmerjenih dnevnih temperatur, velja za dan z velikim toplotnim presežkom. Indeks toplotnega presežka je tako izražen kot dolgotrajna temperaturna anomalija. Povprečje treh dni je izbrano z razlogom, ker je ugotovljeno, da ranljiva populacija postane občutljiva na vročino po treh dneh izpostavitve (Nairn in sod. 2013). Podnebna referenčna vrednost za nastop toplotnega presežka, je 95. centil izmerjenih dnevnih temperatur, ki so merjene v daljšem časovnem obdobju (izbrano je bilo obdobje 1981-2010). Sledeča pozitivna odstopanja od referenčne vrednosti pomenijo precejšen toplotni presežek oz. vročinski val.

Za izračun kazalca najprej izračunamo povprečne dnevne vrednosti temperature (PDT) v celotnem opazovanem večletnem časovnem obdobju (upoštevajoč vse dneve v letu) kot:

$$PDT = (T_{maks} + T_{min})/2 \qquad (8)$$

Naredimo povprečje po treh zaporednih dnevih in izračunamo odstopanje od mejne vrednosti:

$$EHI_{sig} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - T_{95}\,, \qquad (9)$$

kjer je T_i povprečna dnevna temperatura (PDT) i-tega dneva v °C. Vrednost T_{95} predstavlja 95. percentil povprečnih dnevnih temperatur v izbranem tridesetletnem časovnem obdobju (1981–2010), prav tako v enotah °C.

V primerjavi z drugimi kazalci je indeks toplotnega presežka relativno nov, ker je bil izoblikovan v Avstralskem uradu za meteorologijo leta 2013 (Nairn in sod. 2013).

Psevdo ekvivalentna temperatura

Kazalec psevdo ekvivalentna temperatura se pojavlja v učbeniku za medicinsko meteorologijo (Vida 1990). Je tudi izbrani indeks pri študiji vročega poletja 2013 na spletni strani ARSO, najverjetneje, ker ga pozna medicinska stroka. Psevdo ekvivalentna temperatura povezuje vpliv temperature in absolutne vlažnosti. Definirana je kot (spletni vir 1):

$$PET = T + 1.5e \quad (10)$$

V enačbi 10 imata parametra *T* in *e* enak pomen in enote kot pri enačbah 1 in 6. Sama omenjenega kazalca ne bom preverjala, ker ni omenjen v nobeni literaturi kot kazalec, ki bi se uspešno uporabljal pri izdajanju opozoril na vročino. Tudi psevdo ekvivalentna temperatura fizikalno gledano nima enote, se pa tudi tu končna vrednost interpretira v °C.

Dnevni temperaturno-vlažnostni indeks (ang. The daily temperature-humidity index - THI)

THI je še en v vrsti kazalcev, ki za svoj izračun potrebujejo maksimalno dnevno temperature in vlago. Ta kazalec je nekakšna skrajšana in poenostavljena verzija vročinskega indeksa *HI*. V obliko enačbe 11 ga je izoblikoval H. H. Kibler (1964).

$$THI = 1.8\,T - (1 - RH)(T - 14.3) + 32 \quad (11)$$

V literaturi je mogoče zaslediti več člankov, ki Kibblerjev kazalec uporabljajo kot kazalec vročinskega napora pri živalih. Z njegovo pomočjo je bilo uspešno pokazano, kako zelo so npr. krave občutljive na različne vrednosti vremenskih spremenljivk, kar se zelo pozna pri pridelavi mleka (Gantner 2011; Kučević 2013).

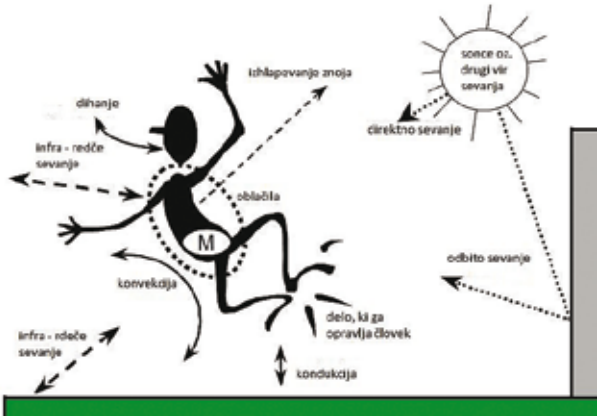
Modeli za izračun toplotne bilance človeka

V to skupino spadajo modeli, ki skušajo čim bolj natančno opisati toplotne tokove med človekom in okolico. Zaradi tega so najbolj obsežni in po večini najbolj vprašljivi, saj vključujejo veliko predpostavk o npr. obleki, velikosti in teži človeka, metabolični vrednosti. Edina država, ki dejansko vsak dan računa celotni toplotni model človeka je Nemčija, ki uporablja model Klima-Michel (Jendritzky). To je že relativno star model, ki predpostavlja lastnosti povprečnega človeka Michela. Michel je moški, star 35 let, velik 1,75 m in težak 75 kg. Predpostavljene ima tudi nekatere druge dejavnosti (delo, ki ga opravlja, hitrost hoje...). Torej je to popolnoma ne-reprezentativen model za otroke in starejše, ki so navadno ob vročini najbolj ranljivi.

Toplotno bilanco med človekom in okolico zapišemo s pomočjo energijske bilance.Za razumevanje enačbe ravnovesja si lahko pomagamo s sliko 2.

$$M - W - \left[Q_T(T,v) + Q^*\left(T_{pst},v\right)\right] - \\ - \left[Q_L(e,v) + Q_z(e,v)\right] - Q_d(T,e) \pm S = 0, \quad (12)$$

kjer so: *M* metabolična stopnja (aktivnost), *W* mehanična moč (neke vrste aktivnost), *S* skladiščenje



Slika 2. Toplotna bilanca človeka. Vir: (McGregor in sod. 2015).

Figure 2. The human heat budget. Picture from: (McGregor in sod. 2015).

(spreminjanje vsebnosti toplote v telesu), Q_T turbulentni tok zaznavne toplote, Q^* sevalni prispevek, Q_L turbulentni tok latentne toplote (vodna para), Q_Z turbulentni tok latentne toplote (izhlapevanje znoja), Q_d toplotni tok dihanja (zaznavna in latentna). Vse te količine imajo enoto W/m^2.

Meteorološke spremenljivke potrebne za izračun sevalne bilance so temperatura zraka, tlak vodne pare, hitrost vetra in T_{pst} povprečna sevalna temperatura, ki vključuje kratko in dolgo valovno sevanje. Prav poznavanje T_{pst} predstavlja problem večine modelov sevalne bilance. Za oceno te temperature se namreč potrebuje količino srednjih, nizkih in visokih oblakov.

Pet najpogosteje uporabljenih kazalcev sevalne bilance je: Standardna efektivna temperatura (ang. Standard effective temperature), Predvidena povprečna vrednost (ang. Predicted mean vote), Zaznavna temperatura (ang. Percived temperature), Fiziološka ekvivalentna temperatura (ang. Physiological equivalent temperature), Univerzalni toplotni klimatski indeks (ang. Univrsal termal climate index – UTCI) (McGregor in sod. 2015).

Sinoptično - podnebna klasifikacija

Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije (ang. Excess heat indeks-acclimatization)

Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije lahko v literaturi najdemo tudi pod imenom toplotna obremenitev (ang. Heat stress). Izvira iz opažanj, da se pojavljajo dnevi, ki so toplejši od nedavne preteklosti. Podobno kot pri indeksu toplotnega presežka, tudi tukaj pogledamo povprečne dnevne temperature treh

zaporednih dni in jih primerjamo z povprečno dnevno temperaturo predhodnih 30 dni. Kazalec tako izraža kratko časovno anomalijo temperature. Ker primerja vrednosti z poprečno vrednostjo tridesetih predhodnih dni, upošteva morebitno kratko časovno aklimatizacijo. Izbira tridesetih predhodnih dni je bila izbrana z razlogom, ker se človek na višje temperature aklimatizira nekje med dvema in šestimi tedni. Oblika opisanega indeksa je sledeča:

$$EHI_{akl} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - (T_{i-1} + \cdots + T_{i-30})/30, \quad (13)$$

Vrednost EHI_{akl} nam pove stopnjo toplotnega napora, ki je predstavljena kot temperaturna anomalija, v primerjavi s povprečjem predhodnih trideset dni. Enota kazalca je °C. Tako kot indeks toplotnega presežka je tudi to relativno nov kazalec iz leta 2013 in izvira iz Avstralije (Nairn in sod. 2013).

Faktor toplotnega presežka (ang. Excess heat factor)

Še zadnji najnovejši kazalec, prav tako iz Avstralije, je faktor toplotnega presežka (Nairn in sod. 2013). Pravzaprav ta faktor združuje oba prejšnja nova kazalca, ki so jih predstavili v Avstraliji, z namenom definicije vročinskega vala pri njih. Faktor toplotnega presežka združuje intenziteto, trajanje in obremenitev v času vročinskega vala. V Avstraliji vročinski val obstaja, ko je količina *EHF* pozitivna. Definicija faktorja toplotnega presežka je sledeča:

$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{akl}). \quad (14)$$

Enota kazalca *EHF* je (°C)^2, saj imata oba kazalca, ki se uporabljata pri izračunu, enoto °C. Število 1 v členu max (1, EHI_{akl}) pomeni 1 °C. Vročinski valovi, ki so šibki, povzročijo malo amplitudo dogodkov *EHF*. Ko se EHI_{sig} in EHI_{akl} povečujeta, se njun produkt odziva kvadratno na povečevanje vročinskega napora. Glede na to, ali nas zanimajo pretekli ali prihodnji dogodki v enačbah 9 in 13 lahko uporabimo pretekle oz. prihajajoče tri dneve.

Če povzamem, faktor toplotnega presežka je pozitiven, če je EHI_{sig} pozitiven (opazovana tridnevna perioda je vroča glede na absolutno vrednost, torej je nad 95. percentilom dnevne povprečne temperature), poleg tega je *EHF* velik, ko je povprečna tridnevna perioda toplejša kot predhodnih trideset dni. *EHF* se po enačbah 8, 9 in 13 izračuna za prvi dan, od opazovanih treh. Če vročinski val traja dlje od ene tridnevne periode, se toplotna obremenitev dogodka definira kot vsoto sledečih si pozitivnih vrednosti *EHF* (Nairn in sod. 2013).

Indeks dnevne magnitude vročinskega vala (ang. Heat-wave magnitude index daily)

Ta kazalec je nadgradnja oz. pravilnejša verzija kazalca HWMI (heat-wave magnitude index) (Russo in sod. 2014), katerih avtor je Simone Russo. Popravljena verzija je bila objavljena novembra 2015 (Russo in sod. 2015).

Za izračun tega kazalca potrebujemo 30 letno referenčno obdobje, izbrano je bilo obdobje (1981–2010). Mejna vrednost nad katero definiramo, da imamo nadpovprečno vročino se izračuna za vsak dan v letu posebej. Za celotno referenčno obdobje gledamo isti del leta (15 dni pred in 15 dni po dnevu i) in izračunamo 90. centil maksimalnih dnevnih temperatur. Vročinski val je definiran kot obdobje najmanj treh zaporednih dni, ko je presežena ta meja. Na ta način imamo lahko vročinske valove tudi pozimi. Kazalec *HWMId* poskuša razporediti vročinske valove glede na trajanje in glede na to, koliko so posamezne dnevne maksimalne temperature odstopale od predhodno izračunane mejne vrednosti. Magnituda vročinskega vala se izračuna kot vsota magnitud po posameznih dnevih znotraj enega vročinskega vala. Najvišja vrednost v letu, torej najmočnejši vročinski val, predstavlja vrednost kazalca *HWMId*. Dnevna magnituda se izračuna po spodnji formuli:

$$M_d(T_d) = \begin{cases} \dfrac{T - T_{30y25p}}{T_{30y75p} - T_{30y25p}} & \text{, če je } T_d > T_{30y25p} \\ 0 & \text{, če } T_d \leq T_{30y25p} \end{cases} \quad (15)$$

kjer je *T* vrednost maksimalne dnevne temperature, T_{30y25p} in T_{30y75p} pa sta 25. in 75. percentila letnih maksimalnih vrednosti temperatur v izbranem 30 letnem referenčnem obdobju (Russo in sod. 2015).

Kazalci za opis podnebnih sprememb

Vsi spodaj našteti kazalci so bili povzeti iz spletne strani (spletni vir 6) WCRP skupine strokovnjakov za podnebne spremembe, kjer je sicer naštetih kar 27 različni kazalcev s pomočjo katerih lahko ocenimo spreminjanje podnebja na izbrani lokaciji.

Število toplih dni (ang. number of summer days - SU)

Število dni na leto, ko maksimalna dnevna temperatura preseže 25 °C.

Število tropskih noči (ang. number of tropical nights - TR)

Število dni na leto, ko minimalna dnevna temperatura ostane večja od 20 °C.

Odstotek dni, ko je maksimalna dnevna temperatura nad 90 percentilom (TX90p)

Če je TX_{ij} maksimalna dnevna temperatura za dan i in periodo j in TX_{in90} devetdeseti centil na izbran dan v letu, ki se izračuna s pomočjo 5 dnevnega okna na referenčnem obdobju 1981–2010, se odstotek glede na referenčno obdobje dobi z:

$$TX_{ij} > TX_{in90} \quad (16)$$

Indeks trajanja vročinskega vala (ang. warm speel duration index - WSDI)

Letno število dni, ko imamo vsaj 6 zaporednih dni maksimalno dnevno temperaturo nad 90. centilom, ki se izračuna s pomočjo izbranega referenčnega obdobja in s pomočjo 5 dnevnega okna, enako kot je opisano v predhodnem poglavju.

Za konec sem v preglednici združila vse opisane kazalce, vhodne meteorološke spremenljivke potrebne za izračun posameznega kazalca in pripadajočo enoto. Prvih šest kazalcev je fizikalno brez enote, se pa njihove vrednosti interpretirajo kot vrednosti temperature v °C v danih vremenskih razmerah.

Rezultati

Najbolj enostaven za uporabo v prognostične namene, se je v literaturi in na podatkih, ki sem jih uporabljala (Ključevšek 2016), izkazal kazalec *EHF*. Pozitivne vrednosti kazalca *EHF* pomenijo vročinski val. Za opozarjanje na razmere, ki bi lahko bile nevarne (oranžna stopnja) bi kazalec *EHF* moral preseči mejo, ki je enaka 85. centilu vseh pozitivnih vrednosti *EHF* na podatkih iz referenčnega obdobja (1981–2010). Na tak način je definirana meja za oranžno stopnjo v Avstraliji (Nairn 2013). Zelo nevarne razmere (rdeča stopnja) nastopijo, ko kazalec *EHF* preseže 99. centil pozitivnih vrednosti. To mejno vrednost sem izbrala z namenom, da so izločeni res samo tisti najbolj ekstremni dnevi hude vročine. Za posamezne postaje po Sloveniji sem izračunala opisane mejne vrednosti in jih za občutek preračunala nazaj v temperature. Vrednosti so zbrane v preglednici 3. Zavedati se je treba, da je reprezentativnost rezultatov na postajah Babno polje in Letališče Portorož slabša, saj se na postaji Babno polje med leti 1991 in 2003 meritve niso izvajale. Na Letališču v Portorožu pa so se začele izvajati šele leta 1987, kar pomeni, da pri obeh postajah manjka kar nekaj podatkov iz referenčnega obdobja (1981–2010).

Za lažjo predstavo sem vrednosti kazalca in ocenjene vrednosti temperatur za obe stopnji ogroženosti izrisala na zemljevid Slovenije, kjer sem vse vrednosti zaokrožila na 1 °C oz. 1 (°C)^2 natančno. Najprej so prikazani rezultati za primer temperature, za tem vrednosti kazalca EHF.

Za vse postaje je na sliki 7 prikazano število dni na leto, ko je kazalec *EHF* pozitiven, ko smo imeli nevarne in zelo nevarne razmere. Iz rezultatov lahko zaključim, da smo imeli daleč največ dni, ki so že

Preglednica 2. Seznam vseh vročinskih kazalcev, njihovih vhodnih podatkov in enot.

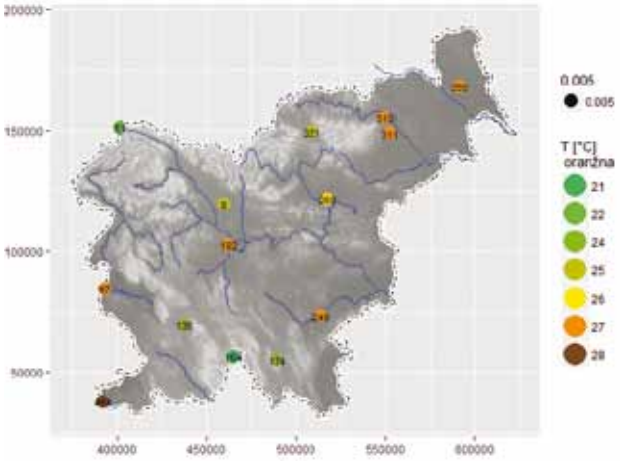
Table 2. List of all indices, their input variables and units.

kazalec	vhodni podatki	enota
HI	T_{maks}, RH	/
humidex	T_{maks}, RH	/
NET	T_{maks}, RH, v	/
AT	T_{maks}, RH, v	/
PET	T_{maks}, RH	/
THI	T_{maks}, RH	/
EHIsig	T_{pov}	°C
EHIaccl	T_{pov}	°C
EHF	T_{pov}	(°C)^2
HWMId	T_{maks}	/
SU	T_{maks}	/
TR	T_{min}	/
TX90p	T_{maks}	%
WSDI	T_{maks}	/

Preglednica 3. Vrednosti kazalca EHF in okvirne povprečne dnevne temperature za opozarjanje pred hudo vročino na posameznih postajah za izbrani mejni vrednosti.

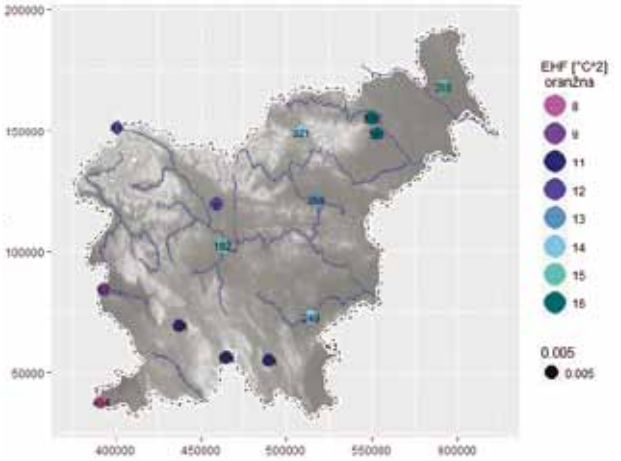
Table 3. Values of index EHF and approximate temperatures for different thresholds used for heat warnings on different stations.

	EHF (°C^2)		temperatura (°C)	
percentili	85p	99p	85p	99p
Murska Sobota	14,9	38,7	26,6	28,9
Maribor	16,2	40,9	27,1	29,5
Let. Maribor	16,1	41,8	26,5	29,0
Šmartno pri SG	14,4	36,5	24,6	26,8
Celje	12,8	30,5	26,1	28,0
Novo mesto	14,0	35,6	26,7	29,0
Kočevje	10,5	28,2	23,9	26,0
Babno polje	10,9	27,7	21,4	23,4
Postojna	11,0	27,6	24,0	26,0
Ljubljana	14,7	34,6	27,2	29,3
Let. Ljubljana	12,1	30,9	25,2	27,3
Rateče	12,0	27,6	22,3	24,1
Bilje	8,8	26,2	27,1	29,2
Portorož	7,5	17,1	27,5	28,9



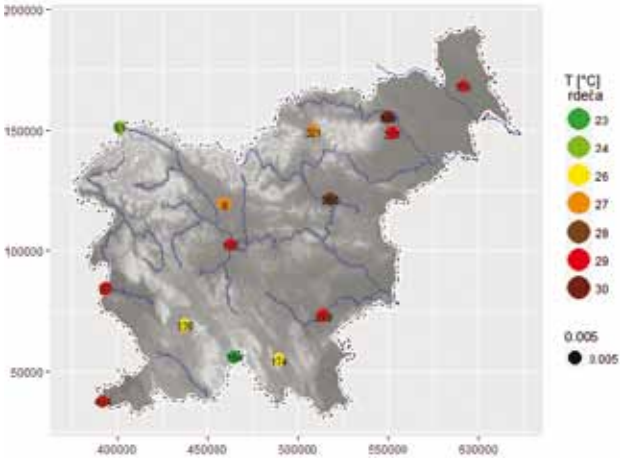
Slika 3. Vrednosti ocenjene povprečne dnevne temperature za oranžno stopnjo ogroženosti na posameznih obravnavanih postajah po Sloveniji. Številke na obarvanih krogih na zemljevidu predstavljajo številko postaje.

Figure 3. Values of approximate temperatures for orange level of threat on different stations in Slovenija. The numbers on circles are the station numbers.



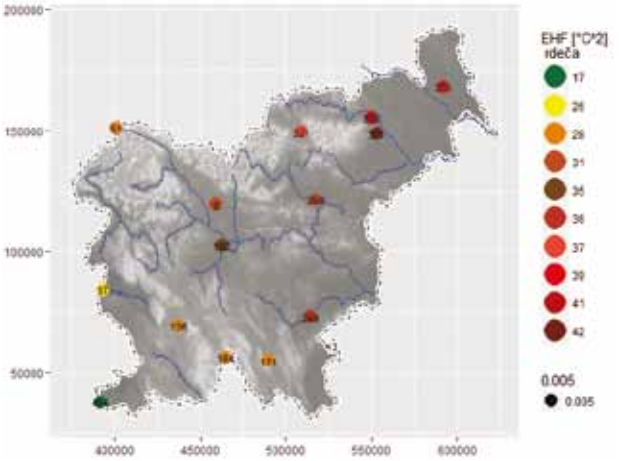
Slika 5. Vrednosti vročinskega kazalca EHF za oranžno stopnjo ogroženosti na posameznih obravnavanih postajah po Sloveniji. Številke na obarvanih krogih na zemljevidu predstavljajo številko postaje.

Figure 5. Values of heat index EHF for orange level of threat on different stations in Slovenija. The numbers on circles are the station numbers.



Slika 4. Enako kot slika 3, le za rdečo stopnjo ogroženosti.

Figure 4. The same as figure 3, but for red level of threat.



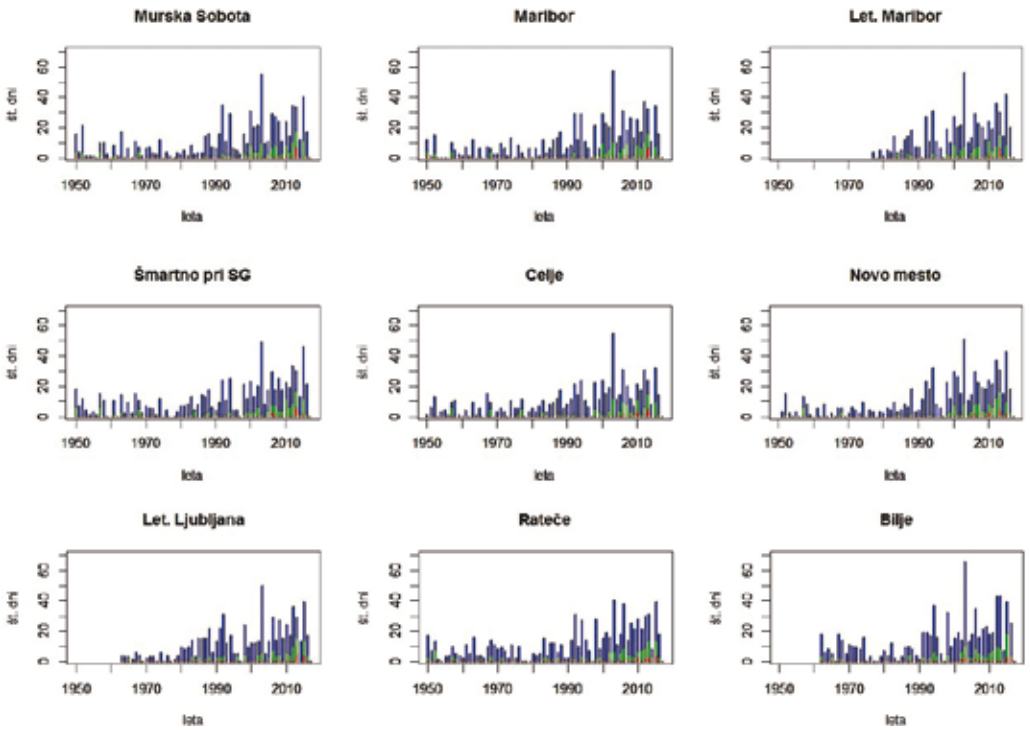
Slika 6. Enako kot slika 5, le za rdečo stopnjo ogroženosti.

Figure 6. The same as figure 5, but for red level of threat.

veljali za vročinski val leta 2003. Absolutno največ jih je bilo na postaji v Biljah. Ni pa bilo veliko teh dni zelo nadpovprečnih. Takih je bilo na večini postaj največ leta 2013.

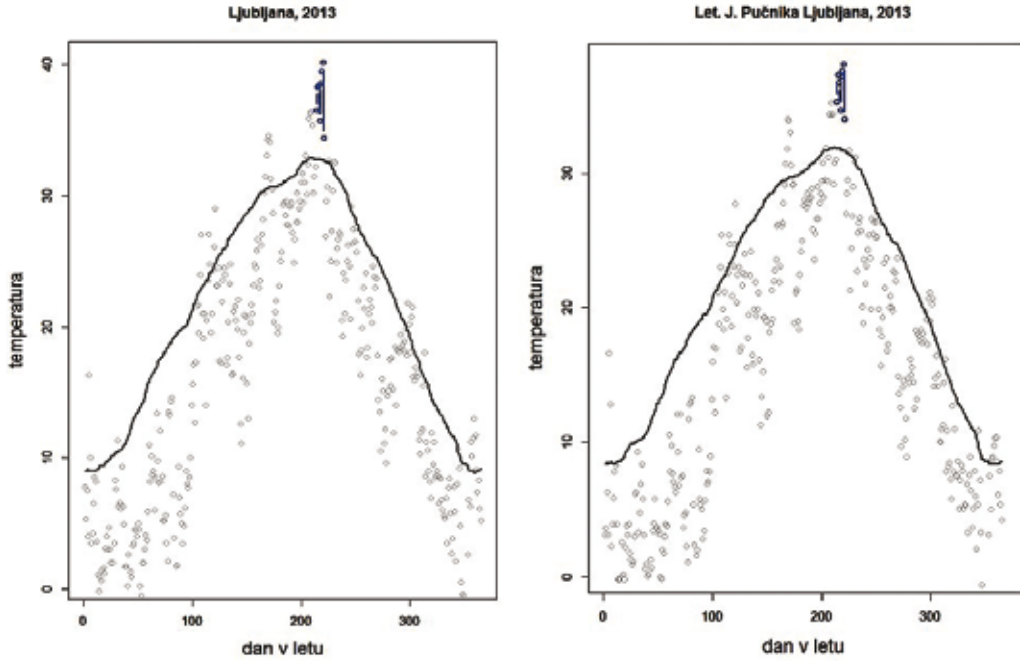
Za prognostične namene se zdi uporaba tega kazalca najenostavnejša. Nas pa iz klimatološkega zornega kota zanima, ne samo koliko dni na leto je ustrezalo definiciji vročinskega vala in kako se njihovo število spreminja iz leta v leto, temveč tudi kako močni so bili in kakšna je bila njihova dolžina. Za ta namen se zdi najprimernejši kazalec *HWMId*, ki vse značilnosti vročinskega vala združuje v eno število. Poda samo magnitudo najhujšega vročinskega vala v letu, vendar ga lahko uporabljamo tudi za analizo ostalih vročinskih valov v letu. Za prikaz prihodnjih razmer je ta kazalec izbrala Evropska okoljska agencija (EEA 2017). Magnitude najhujših vročinskih valov od leta 1950 naprej na posameznih postajah so prikazane na sliki 9.

Kazalec potrdi, da je bil vročinski val v letu 2013 najmočnejši na večini postaj, izjema sta postaji Murska Sobota, z najmočnejšim vročinskim valom v leta 1950 in Bilje, kjer je bilo najhuje leta 2003. Absolutno gledano se je najmočnejši vročinski val zgodil na letališču Ljubljana leta 2013, ko je magnituda skoraj dosegla vrednost 18. Podobno močan je bil tudi v Ljubljani. Kdaj v letu se je pojavil, koliko dni je trajal in kako visoka so bila odstopanja od mejne vrednosti v teh dneh prikazuje slika 8.



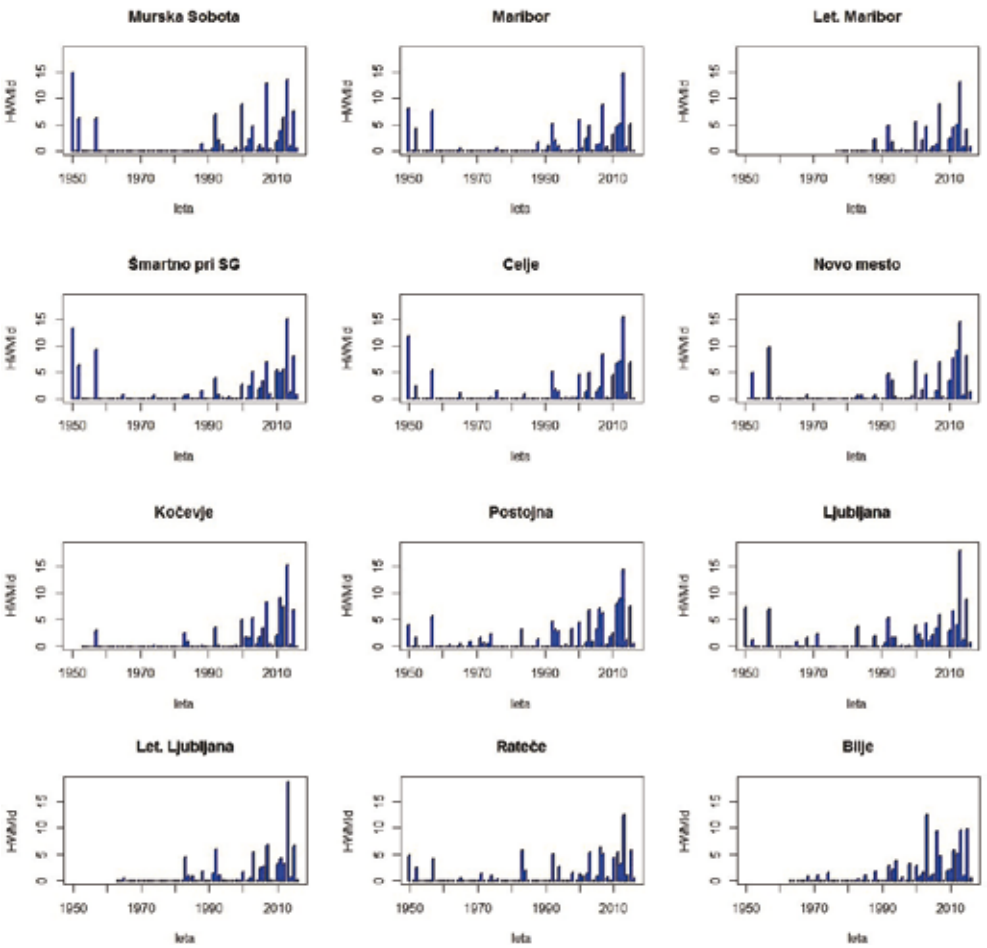
Slika 7. Prikaz števila dni na leto, ko so izpolnjeni pogoji za vročinski val (modri stolpci), ko bi lahko imeli nevarne razmere (zeleni stolpci) in ko so bile razmere zelo nevarne (rdeči stolpci). Po vrsti so prikazani rezultati za postaje Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 7. Number of days per year when terms for heat wave ware fulfilled (blue bars), when we had dangerous conditions (green bars), and very dangerous conditions (red bars). Results are shown for stations Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče and Bilje.



Slika 8. Primer absolutno najhujšega vročinskega vala od leta 1950 naprej pri nas. Zgornji sliki prikazujeta razmere v Ljubljani (levo) in na bližnjem letališču (desno). Sivi krogci prikazujejo dnevne izmerjene maksimalne vrednosti temperatur v letu 2013. Črna črta prikazuje izračunano mejno vrednost, nad katero so dnevi, ki že lahko pomenijo vročinski val. Z modro so označeni dnevi, ki so bili najbolj ekstremni v dnevni magnitudi. Vsota dnevnih magnitud predstavlja magnitudo vročinskega vala.

Figure 8. Example of the strongest heat wave in Slovenija from 1950. The results are shown for Ljubljana (left) and the nearby airport (right). Grey circles represent daily measurements of maximum temperature in year 2013. The black line represent threshold values above witch heat wave is defined. Blue circles represent the most severe heat wave in a year from witch the heat wave magnitude is computed.



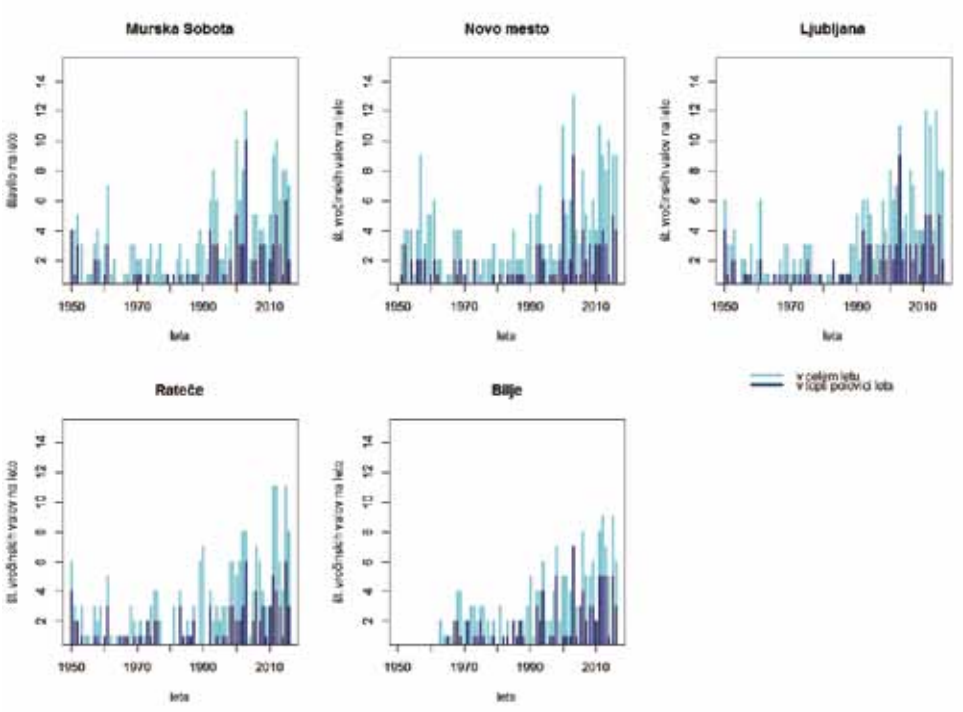
Slika 9. Vrednosti kazalca HWMId v posameznem letu, kar predstavlja najmočnejši vročinski val v tistem letu glede na trajanje in glede na magnitudo. Po vrsti so predstavljene vrednosti na postajah Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 9. Values of index HWMId in different years, which represent the most intense heat wave in a year based on length and magnitude. Results are shown for stations Murska Sobota, Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Kočevje, Postojna, Ljubljana, Letališče J. Pučnika Ljubljana, Rateče and Bilje.

Pri tem kazalcu je vročinski val definiran kot vsako obdobje, ko maksimalna dnevna temperatura presega mejno vrednost vsaj 3 zaporedne dni. Je pa lahko magnituda takega zelo kratkega in temperaturno gledano ne preveč ekstremnega vročinskega vala lahko enaka 0, saj ni nujno, da najvišja dnevna temperatura preseže 25. centil vseh najvišjih dnevnih temperatur v referenčnem odboju. Prav zaradi tega imamo v zimskem času vročinske valove, vendar je njihova magnituda enaka 0. Nas pa zanima, koliko vročinskih valov na leto smo imeli po definiciji tega kazalca. Izrisala sem število vseh vročinskih valov torej tudi tistih, ko je maksimalna dnevna temperatura nižja od 25. percentila najvišjih dnevnih temperatur, v celem letu in št. vročinskih valov samo v topli polovici leta (od 1.5. do 30.9.). Zanimivo je, da praktično skoraj nimamo leta, ko ne bi imeli vsaj enega vročinskega vala v letu, bodisi pozimi ali poleti. Še več, pozimi pogosto beležimo več vročinskih valov kot poleti.

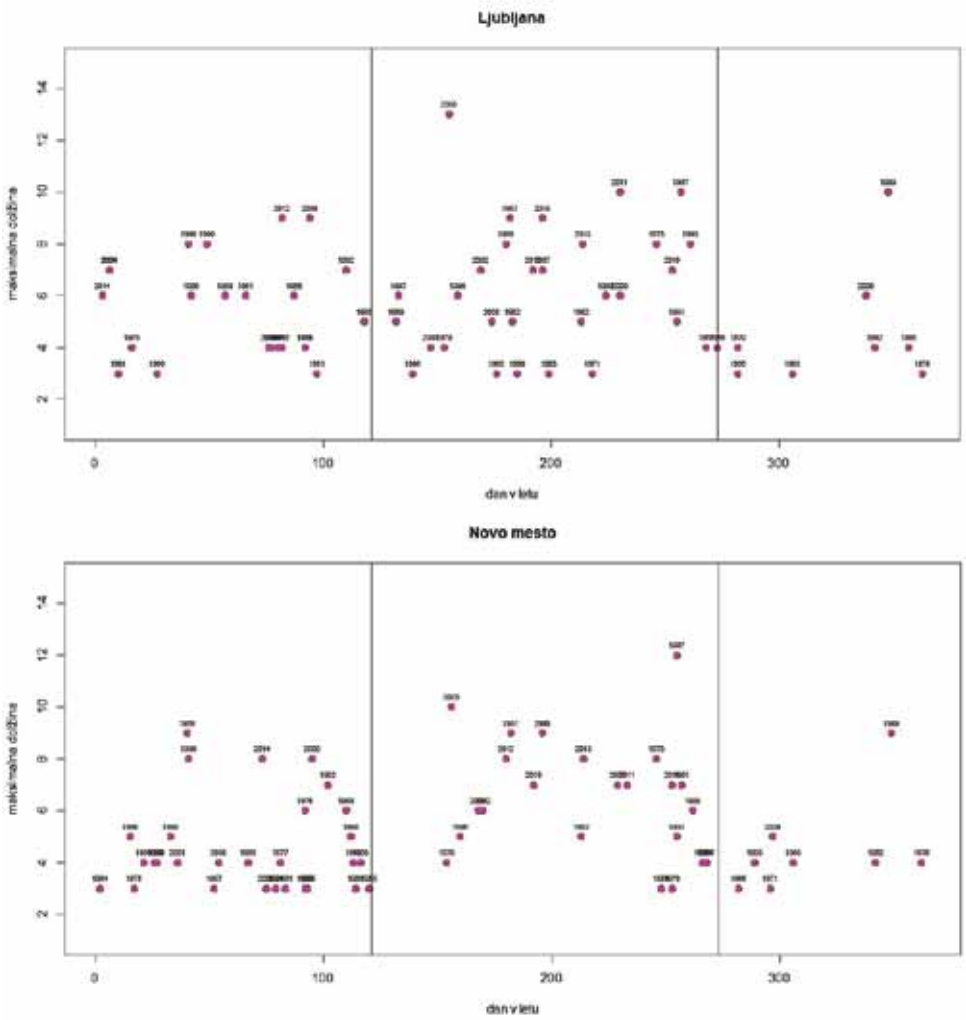
Zanimiv je podatek kdaj v letu se najpogosteje pojavljajo najdaljši vročinski valovi, definirani glede na kazalec HWMId na posameznih postajah. Poiskala sem najdaljši vročinski val v letu, številko dneva v letu ko se je ta začel in izrisala primere na isti graf. Izkaže se, da so na večini postaj (slike niso prikazane) najdaljši vročinski valovi res med poletnimi meseci. Izjema sta postaji v Ratečah in Kočevju, kjer smo leta 2015 zabeležili absolutno gledano najdaljši vročinski val na tej lokaciji, ki pa se je zgodil v hladni polovici leta.

Skupina strokovnjakov za detekcijo podnebnih sprememb (program CLIVAR) ima na svoji spletni strani objavljen seznam 27 t.i. ETCCDI kazalcev, s pomočjo katerih lahko ocenjujemo podnebne spremembe. Štiri od njih sem uporabila tudi sama, rezultati števila toplih dni in tropskih noči, odstotkov, ko najvišja dnevna temperatura preseže izbrano mejo in število dni, ko vročinski val traja vsaj 6 zaporednih dni, so predstavljeni na sledečih slikah (slika 13 – slika 16). Tudi tu so rezultati pričakovani. Število toplih dnih je v zadnjih letih v porastu, še posebej od leta 1980 naprej. Največ toplih dni vsako leto beležimo na postaji Bilje pri Novi Gorici. Na vseh postajah najbolj odstopa leto 2003. Izjema sta obe primorski postaji, ki sta imeli v letu 2011 več toplih dni. Ima pa največji naklon od vseh postaj, ki sem jih preverjala (vse slike niso prikazane) postaja na letališču v Mariboru, vendar je to posledica krajšega časovnega niza. Od postaj, ki imajo najdaljše nize, ima največji trend naraščanja poletnih dni postaja v Kočevju, sledi ji Postojna.



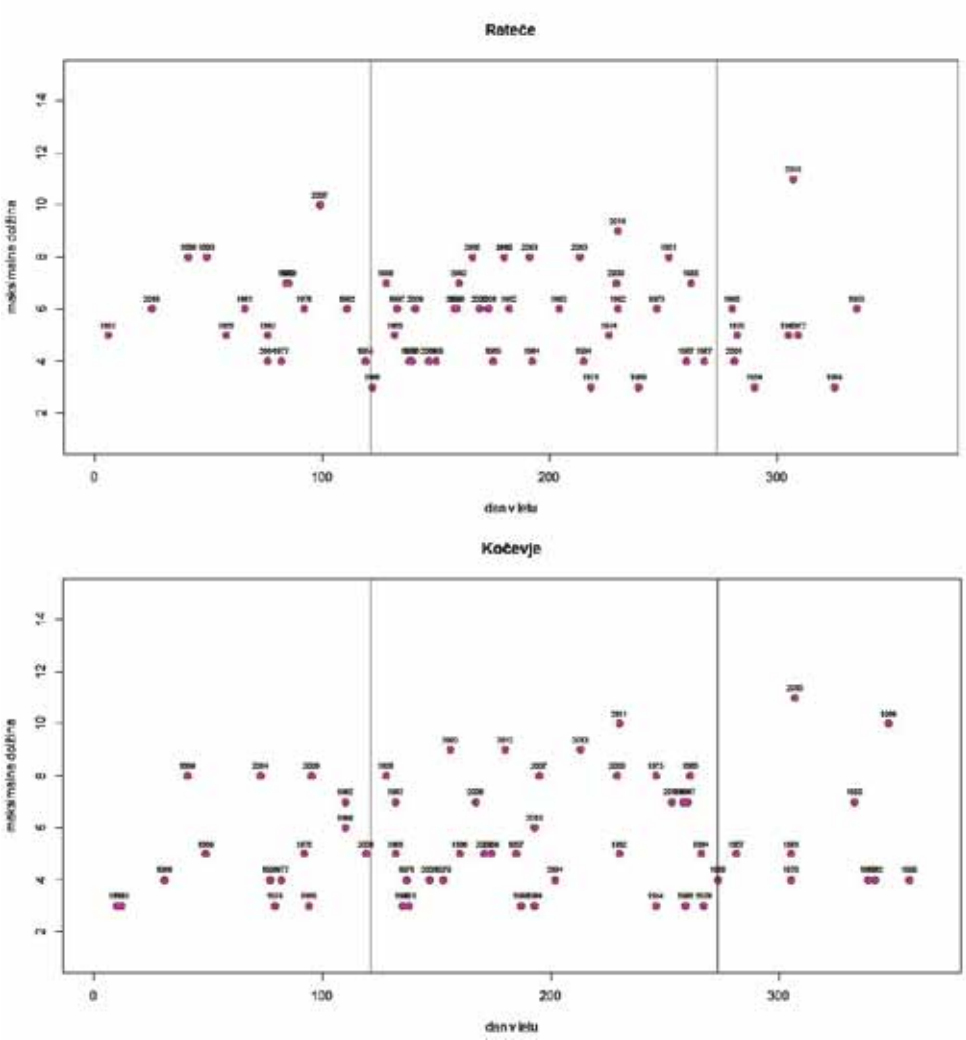
Slika 10. Prikaz števila vročinskih valov po definiciji iz kazalca HWMID. Vsi vročinski valovi v letu, torej tudi zimski, so prikazani s turkizno barvo, samo tiste v toplejši polovici leta prikazujejo modri stolpci. Po vrsti so prikazane postaje Murska Sobota, Novo mesto, Ljubljana, Rateče in Bilje.

Figure 10. Number of heat waves per year from definition of HWMId. All heat waves per year, even those who accrued in wintertime are displayed with turquoise bars, the ones from summertime (May – September) are plotted with blue bars. Results are shown for stations Murska Sobota, Novo mesto, Ljubljana, Rateče and Bilje.



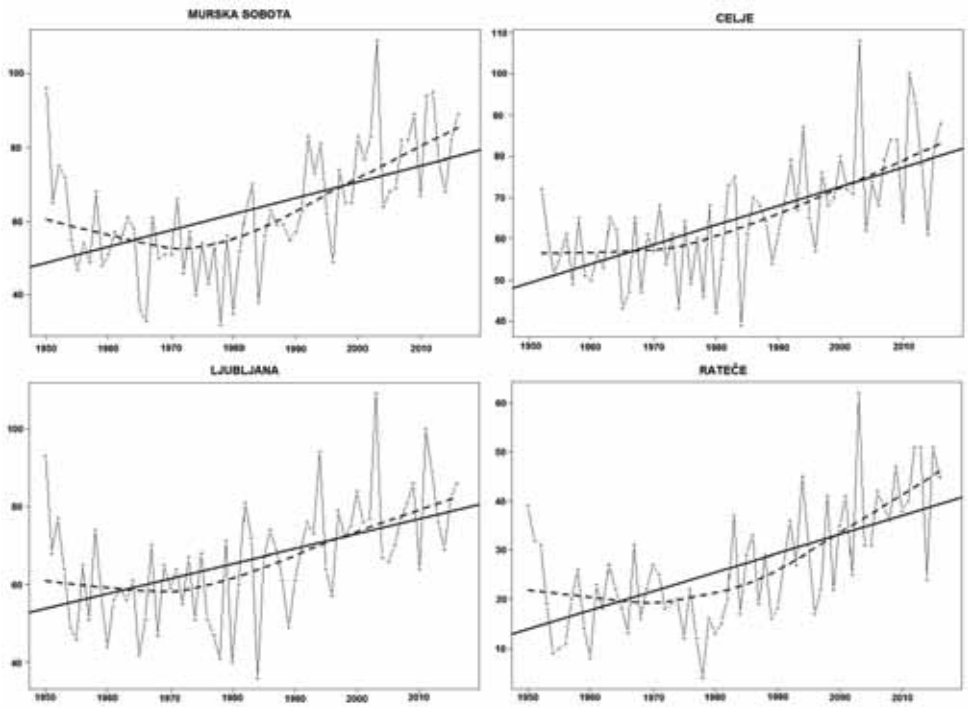
Slika 11. Prikaz najdaljšega vročinskega vala v posameznem letu na postajah Ljubljana in Novo mesto. Roza krogci prikazujejo najdaljši vročinski val v letu, črni navpični črti označujeta datuma 1.5. in 30.9., torej ločujeta toplejšo in hladnejšo polovico leta.

Figure 11. The pink dots represent the longest heat wave in a year on stations Ljubljana and Novo mesto. Black vertical lines denotes the beginning and the end of warm half of the year (May – September).



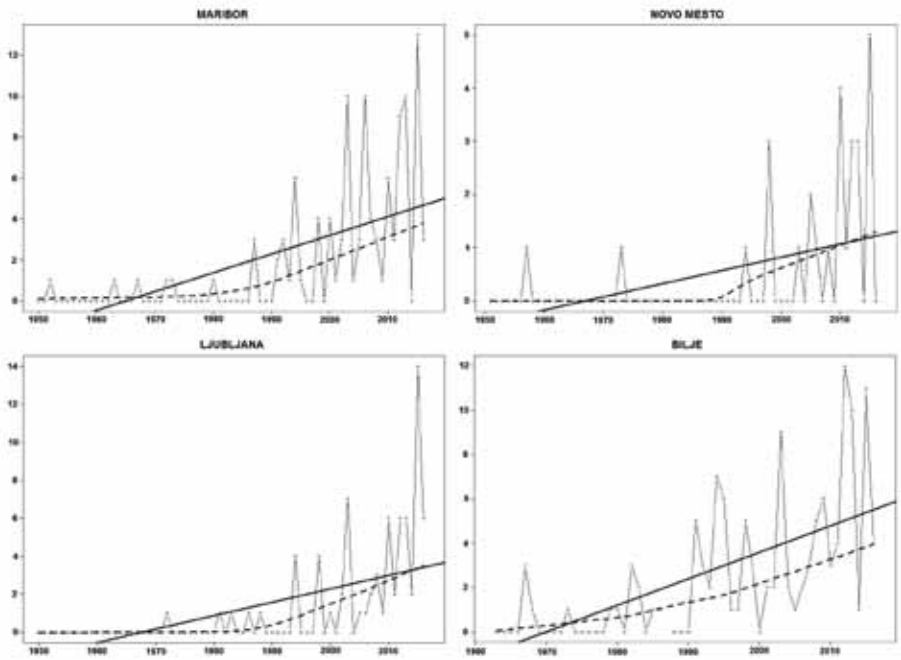
Slika 12. Enako kot slika 11, le da sta tu predstavljeni postaji Rateče in Kočevje, ki sta imeli absolutno najdaljši vročinski val v hladni polovici leta 2015.

Figure 12. The same as Figure 11, but for stations Rateče and Kočevje, where the absolute longest heat wave occurred in cold half of the season 2015.



Slika 13. Prikaz števila toplih dni na posameznih postajah v posameznih letih in njihov linearni trend naraščanja. Po vrsti so prikazane postaje Murska Sobota, Celje, Ljubljana in Rateče.

Figure 13. Number of summer days per year and associated linear trend. Results are shown for stations Murska Sobota, Celje, Ljubljana and Rateče.



Slika 14. Prikaz števila tropskih noči na posameznih postajah v posameznih letih in njihov linearni trend naraščanja. Po vrsti so prikazane postaje Maribor, Novo mesto, Ljubljana in Bilje.

Figure 14. Number of tropical nights per year and associated linear trend. Results are shown for stations Murska Sobota, Ljubljana and Bilje.

Število tropskih noči je na veliko postajah premajhno, da bi iz njih lahko z zanesljivostjo ocenjevali trend. Se pa njihovo število predvsem v mestih hitro povečuje, tudi tu še posebej od leta 1980 naprej. Veliko število tropskih noči imamo po pričakovanjih vsako leto na primorskem. Je bilo pa na postaji v Celju leta 2003, 2004 in 2010 zabeleženih kar 20 tropskih noči. Več smo jih zabeležili leta 2003 le v Portorožu. Absolutno največ je bilo namerjenih prav tako na letališču v Portorožu leta 2015, kar 26. Zanimivo, v Kočevju smo od kar potekajo meritve zabeležili le 3 tropske noči, in vse so se zgodile pred letom 2000 (1983, 1993, 1999).

Odstotek koliko dni presegamo mejno vrednost 90 percentila izračunanega na 30 letnem referenčnem obdobju s pomočjo 5 dnevnega okna se pravzaprav povečuje zelo primerljivo na vseh postajah. Naklon je seveda največji pri postajah s krajšim časovnim nizom. Sta pa ponovno postaji Postojna in Kočevje med tistimi z največjim naklonom med tistimi postajami, ki imajo najdaljše nize. Pri teh rezultatih je zanimivo tudi to, da je v Ljubljani izpostavljeno kot eno najtoplejših let, leto 2011. Poleg že velikokrat omenjenega leta 2003 ta kazalec na številnih postajah kot ekstremno leto izloča tudi poletja 2000, 2011 in 2012. Absolutno gledano je bilo po rezultatih tega kazalca najbolj ekstremno leto 2011 v Postojni, ko smo bili kar v 26 % nad definirano mejno vrednostjo.

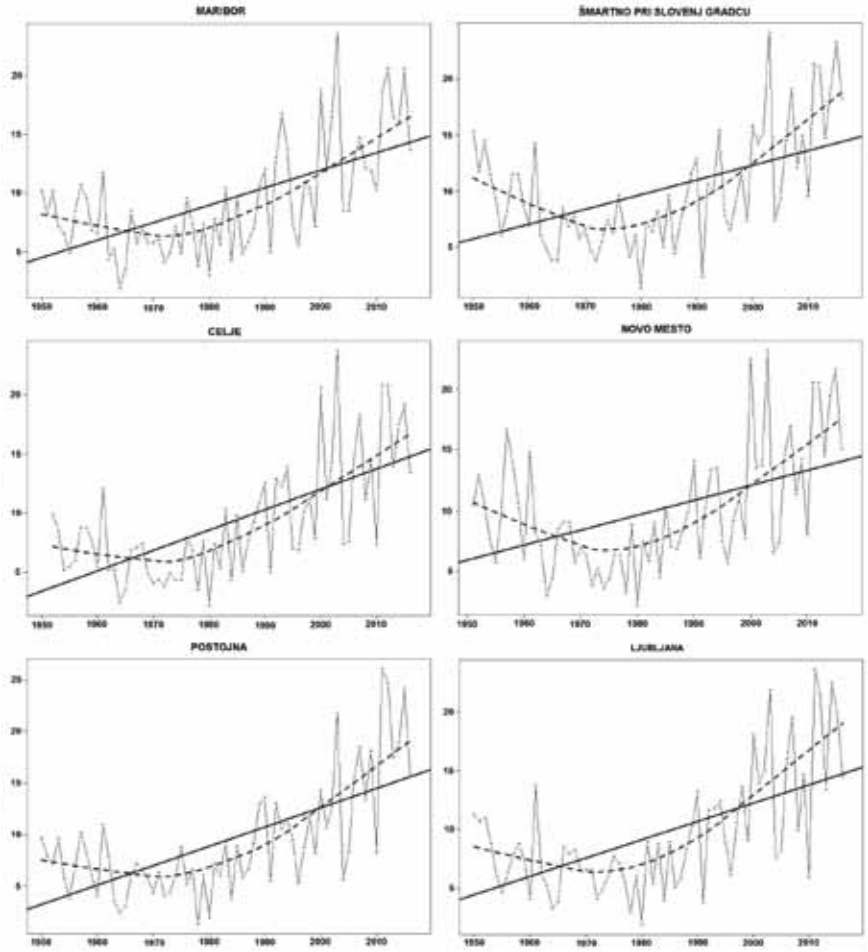
Število dni, ko dnevna maksimalna temperatura presega mejno vrednost 90. percentila iz izbranega 30 letnega referenčnega obdobja, vsaj šest zaporednih dni, se nam na večini postaj hitro povečuje od leta 1980 oz. 1990 naprej. Zelo veliko dni z vročinskim valom smo imeli leta 2011 v Postojni. Pravzaprav je bilo to leto ekstremno na večini postaj, izjema sta postaji Rateče in Šmartno pri Slovenj Gradcu. Na teh postajah je bilo največ takih dni v letu 2015. Tudi tu je največji trend pri postajah z najdaljšim nizom na postaji Postojna. Je pa na vseh postajah veliko število dni z vročinskim valom vsa leta od leta 2011 naprej.

Zaključek

V prihodnosti bo topleje, to kažejo praktično vsi podnebni scenariji. Strokovnjaki se strinjajo, da nas poleti čaka čedalje več vročinskih valov (EEA 2017). In ti v Sloveniji še niso uradno definirani. Veliko držav po svetu uporablja najrazličnejše vročinske kazalce za opozarjanje prebivalstva na morebitne izredne razmere in definicijo vročinskih valov.

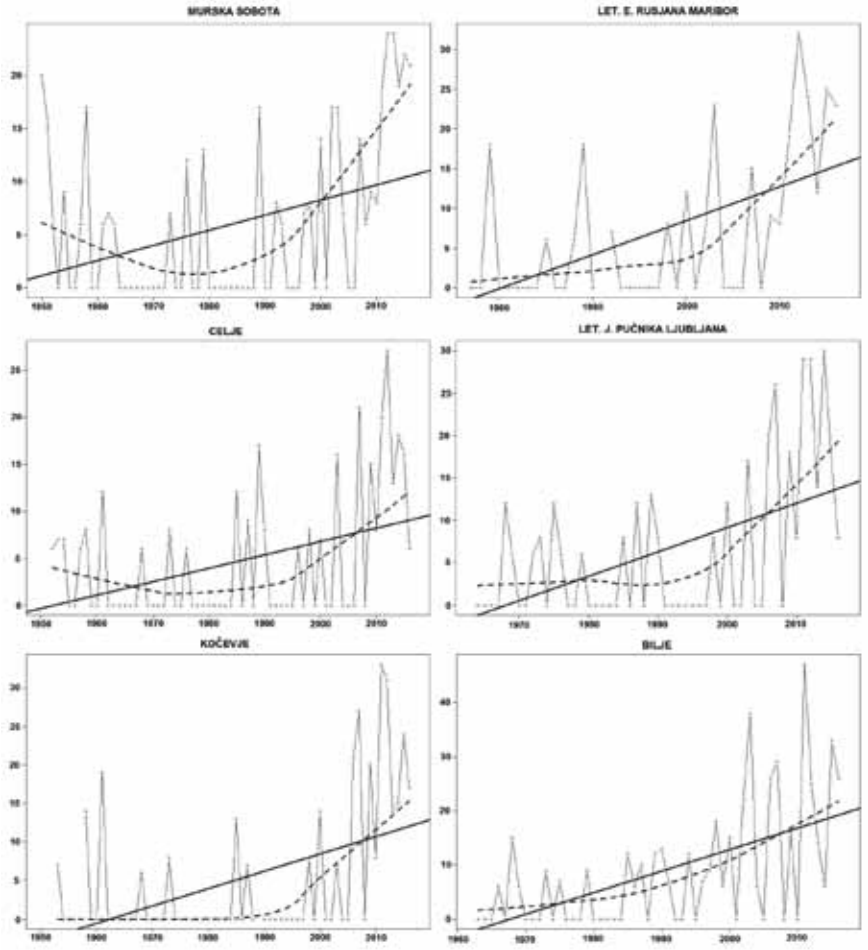
Opisala sem glavne značilnosti nekaterih najbolj poznanih in najpogosteje uporabljenih kazalcev za vročino in tudi tistih, ki so bili izoblikovani v zadnjih letih. Osredotočila sem se na tiste vročinske kazalce, ki so zaradi svoje oblike primerni za računanje pri nas. Izračunala sem jih na 14. postajah po Sloveniji, ki imajo čim daljši časovni niz in ki so geografsko med seboj na različnih območjih.

Najbolj uporabna definicija vročinskega vala se zdi definicija s pomočjo avstralskega kazalca EHF. Ta kazalec je bil narejen z namenom čim boljše napovedi vročinskih valov in opozarjanje na njih. Odlikujeta ga po eni strani preprostost, po drugi strani pa je dovolj kompleksen, da upošteva tako klimatologijo opazovanega območja, kot kratko časovno



Slika 15. Prikaz deleža dni na leto, ko imamo preseženo mejo 90 percentila najvišjih dnevnih temperatur s pet dnevnim oknom izmerjenih na isti dan v letu v 30 letnem referenčnem obdobju. Po vrsti so tokrat predstavljene postaje: Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Postojna in Ljubljana.

Figure 15, Percentage of days when daily maximum temperatures exceed 90 percentile of maximum daily temperatures on 5-day window from reference period on the same day. Results are shown for stations Maribor, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Celje, Novo mesto, Postojna and Ljubljana.



Slika 16. Enako kot slika 15 le da so tu prikazani rezultati kazalca trajanja vročinskega vala (WSDI) za postaje Murska Sobota, Letališče E. Rusjana Maribor, Celje, Let. J. Pučnika Ljubljana, Kočevje in Bilje.

Figure 16. The same as in Figure 15, but here are results for warm speel duration index for stations Murska Sobota, Letališče E. Rusjana Maribor, Celje, Let. J. Pučnika Ljubljana, Kočevje and Bilje.

aklimatizacijo na vročino. Poleg tega obstaja nekoliko prirejena oblika tudi za napovedovanje hudega mraza.

Se pa vročinski valovi težko primerjajo med sabo zaradi različne intenzitete, trajanja in prostorske porazdelitve. Ta problem zelo uspešno reši kazalec HWMId, ki je nekoliko kompleksnejši, vendar zelo primeren za podnebne študije vročinskih valov. Tudi ta kazalec temelji na centilih, torej je zelo primeren za podnebno različna območja, kar pa ne moremo trditi za npr. število toplih dni in tropskih noči, ki imata fiksno mejno vrednost. Omenjeni kazalec prikaže, da smo imeli leta 2003 res daleč najdaljši vročinski val, vendar so bili ti dnevi precej manj nadpovprečni od tistih v letu 2013, ko smo marsikje po državi zabeležili nove rekordne vrednosti najvišjih dnevnih temperatur (spletni vir 7).

Vsem obravnavanim kazalcem je skupno to, da kažejo trend naraščanja, še posebej izrazit je po letu 1980. V bližnji prihodnosti bodo postale napovedi vročinskih valov pomembne, ne samo zato, da se ljudi opozori na resnost prihajajočih vremenskih razmer. Dlje trajajoče visoke temperature navadno prizadenejo večja območja npr. južni del Evrope. Visoke temperature pomenijo tudi sušo. Takšne razmere tako vplivajo na vse žive organizme. Posledično lahko lokalno pride do hudega pomankanja vode, izredno slabega pridelka sadja, zelenjave in mleka... Z dovolj zgodnimi opozorili, bi lahko tako nekatere posledice vsaj deloma omilili.
.

Viri

EEA poročilo, Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, European Environment Agency, 2017

Gantner V., Mijić P., Kuterovac K., Solić D., Gantner R., Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera v Osijeku, 2011.

Jendritzky G., Staiger H., Bucher K., Graetz A., Laschewski G., The Perceived Temperature: The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body, Deutscher Wetterdienst, Germany. (Dostopno na: http://www.utci.org/isb/documents/perceived_temperature.pdf)

Kibler H.H., Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station. 862., 1964

Ključevšek N., Žagar N., Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, 2016

Kučević D., Plavšić M. , Trivunović S., Radinović M., Bogdanović V., Infuence of microclimatic conditions on the daily production of dairy cows, Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Zemun, Biotechnology in Animal Husbandry 29 (1), p 45-51, 2013

Li P.W. in S.T. Chan, 2000: Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. Meteor. Appl., 7: 369–375.

McGregor G.R., glavni urednik, Bessemoulin P., Ebi K. in Menne B., uredniki, Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization and World Health Organization, 2015

Nairn, J.R. in R. Fawcett, 2013: Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia. Centre for Australian Weather and Climate Research (CAWCR) Technical Report 060 Kent Town, South Australia, 84 pp.

Russo S., Dosio A., Graversen R. G., Sillmann J., Carrao H., Dunbar M. B., Singeton A., Montagna P., Barbola P. in Vogt J. V., Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, Jurnal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014.

Russo S., Sillmann J. in Fischer E. M., Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. Environmental Research Letters, 2015.

Simon N. Gosling, Erin K. Bryce, P. Grady Dixon, Katharina M. A. Gabriel, Elaine Y. Gosling, Jonathan M. Hanes, David M. Hondula, Liang Liang, Priscilla Ayleen Bustos Mac Lean, Stefan Muthers, Sheila Tavares Nascimento, Martina Petralli, Jennifer K. Vanos, Eva R. Wanka A glossary for biometeorology, Int J Biometeorol, 2013

Vida M., Medicinska meteorologija, Ljubljana, Medicinska fakulteta, 1990.

Spletni vir 1: http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=685&lang_id=302 (20.11.2016)

Spletni vir 2: http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml (25.11.2016)

Spletni vir 3: https://pwlinfo.wordpress.com/tag/heat-index/ (25.11.2016)

Spletni vir 4: http://www.fmf.uni-lj.si/~zagarn/downloads/M2015/StabilnostVlazenZrak_2015.pdf (25.11.2016)

Spletni vir 5: http://ptaff.ca/humidex/?lang=en_CA (25.11.2016)

Spletni vir 6: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml (3.4.2017)

Spletni vir 7: http://www.meteo.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/vrocina_zacetek-avg2013.pdf (5.4.2017)